

Rancang Bangun Interleaved Boost Converter Berbasis Arduino

Melzi Ambar Mazta¹, Ahmad Saudi Samosir², Abdul Haris³

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

¹melziambar@gmail.com

²ahmad.saudi@eng.unila.ac.id

³abdul.haris@eng.unila.ac.id

Intisari — Pada dc-dc boost converter, arus masukan dan tegangan keluaran masih menghasilkan ripple yang cukup besar. Ripple merupakan masalah yang mengurangi kehandalan dari konverter itu sendiri. Sehingga diperlukan metode perbaikan untuk mengurangi ripple pada boost converter. Pada penelitian ini metode yang ditawarkan adalah menggunakan teknik interleaved pada boost converter. Teknik tersebut terbukti dapat mengurangi besar nilai ripple pada arus masukan dan tegangan keluaran secara signifikan. Dari hasil simulasi dan pengujian perangkat keras interleaved boost converter dengan nilai duty cycle yang bervariasi terlihat penurunan besar nilai ripple pada arus masukan dan tegangan keluaran boost converter jauh lebih kecil dibandingkan dengan hasil boost converter konvensional.

Kata kunci — Interleaved Boost Converter, Boost Converter, Ripple.

Abstract — In the dc-dc boost converter, the input current and the output voltage still produce large enough ripple. Ripple is the problem that reduces the reliability of the converter itself. So it needs some method to reduce the ripple of boost converter. In this thesis the method that is offered is to use the interleaved technique to boost converter. The technique is proven can reduce the ripple's value on the input current and the output voltage significantly. Based on the result of simulation and hardware testing of interleaved boost converter with variation of the duty cycle value, a decrease in the input current and output voltage boost converter were more smaller than a conventional boost converter.

Keywords— Interleaved Boost Converter, Boost Converter, Ripple.

I. PENDAHULUAN

Dalam aplikasi sumber energi terbarukan seperti *fuel cell* dan *solar cell* masih menghasilkan tegangan keluaran yang rendah. Untuk itu dibutuhkan alat agar dapat memberikan tegangan keluaran yang lebih besar. Alat yang umum digunakan sekarang ini adalah dc-dc *boost converter*.

Dc-dc *boost converter* merupakan konverter yang digunakan untuk memberikan tegangan keluaran yang lebih tinggi dari tegangan masukan yang rendah dengan dikendalikan oleh sinyal kontrol berupa sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). Namun, pada *boost converter* konvensional, nilai arus masukan dan tegangan keluaran yang dihasilkan masih terdapat *ripple* yang cukup

besar. *Ripple* tersebut merupakan masalah yang akan mengurangi kehandalan pada konverter itu sendiri. Maka untuk menyelesaikan masalah tersebut, suatu bentuk metode perbaikan dengan cara memodifikasi rangkaian *boost converter* dibuat. Modifikasi rangkaianannya dengan menggunakan teknik *interleaved* pada *boost converter*. Teknik *interleaved* bekerja dengan cara memparalelkan lebih dari satu *boost converter* dengan dikendalikan oleh lebih dari satu sinyal kontrol yaitu sinyal PWM dengan pergeseran fasa yang relatif.

Pada penelitian ini, ditawarkan dua unit *boost converter* yang dihubungkan secara paralel. Dengan memparalelkan kedua *boost converter*, maka dapat mengurangi nilai *ripple* pada arus masukan dan tegangan

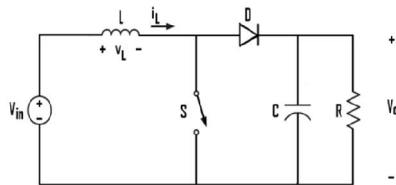
keluaran. Tentunya hal ini akan memberikan kelebihan dalam hal kehandalan pada konverter tersebut

Rancang bangun *interleaved boost converter* ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu pemodelan simulasi dan realisasi perangkat keras. Selain itu dilakukan analisa pengaruh akibat pemakaian teknik *interleaved* pada *boost converter*. Sehingga akan dibandingkan besar nilai *ripple* pada arus masukan dan tegangan keluaran yang dihasilkan antara *boost converter* konvensional dan *interleaved boost converter*. Hasil perbandingan tersebut digunakan untuk melihat bahwa dengan menggunakan teknik *interleaved* pada *boost converter* maka akan mengurangi besar nilai *ripple* pada arus masukan dan tegangan keluaran. Selanjutnya akan dibandingkan juga hasil pengujian perangkat keras *interleaved boost converter* dengan hasil simulasi. Hal ini bertujuan sebagai evaluasi dan validasi dalam keberhasilan pembuatan perangkat keras.

II. TINJAUAN PUSTAKA

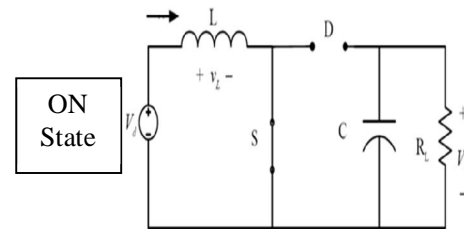
A. Boost Converter

Boost converter merupakan konverter DC-DC yang berfungsi untuk menaikkan tegangan. ^[1,2,3] Gambar 1 berikut merupakan rangkaian dari *boost converter*:

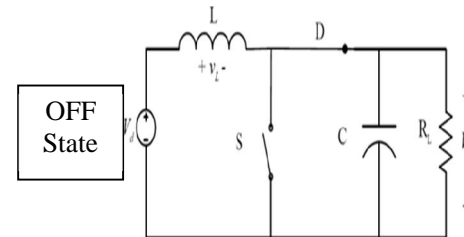


Gbr. 1 Topologi *Boost Converter* ^[1,2]

Untuk mempermudah dalam menganalisa rangkaian *boost*, Gambar 2 berikut ini merupakan *state* dari rangkaian *boost* pada saat *state ON* dan *state OFF*:



a. *State ON* ^[1,2]



b. *State OFF* ^[1,2]

Gbr. 2 Rangkaian *Boost* Pada Saat *State ON* dan *State OFF* ^[1,2]

State ON

Ketika berada pada *state ON*, *switch S* akan berfungsi sebagai saklar yang menutup (konduksi) ton, dioda menjadi *reverse bias* dan besar arus induktor akan menyamai arus masukan. Begitu juga dengan tegangan induktor akan sama besarnya dengan tegangan masukan. Dalam kondisi saklar ON, induktor akan menyimpan energi. Waktu saat saklar dalam keadaan ON disebut DT. ^[2] Saat saklar dalam kondisi selama DT,

$$V_1 = V_d \quad (1)$$

$$V_1 = L \frac{di_1}{dt} \quad (2)$$

$$\frac{V_d}{L} = \frac{di_1}{dt} \quad (3)$$

$$\Delta i_1(\text{closed}) = \frac{V_d D t}{L} \quad (4)$$

State OFF

Ketika berada pada *state OFF*, *switch S* akan membuka sehingga arus induktor akan mengalir menuju beban melewati dioda sehingga energi yang tersimpan di induktor akan turun. Pada saat toff, beban akan disuplai oleh tegangan sumber ditambah dengan tegangan induktor yang sedang melepaskan energinya. Kondisi ini yang

menyebabkan tegangan keluaran menjadi lebih besar dibandingkan dengan tegangan masukannya Waktu saat saklar OFF disebut $(1-D)T$. Rasio antara tegangan keluaran dan tegangan masukan konverter sebanding dengan rasio antara periode penyaklaran dan waktu pembukaan saklar.^[2]

Saat saklar OFF pada waktu $(1-D)T$,

$$V_1 = V_d - V_o \quad (5)$$

$$V_1 = L \frac{dI_1}{dt} \quad (6)$$

$$\frac{V_d - V_o}{L} = \frac{dI_1}{dt} \quad (7)$$

$$\Delta I_1(\text{open}) = \frac{(V_d - V_o) T}{L} \quad (8)$$

Untuk keadaan *steady state*, perubahan di arus induktor harus nol,

$$\Delta I_1(\text{open}) + \Delta I_1(\text{closed}) = 0 \quad (9)$$

$$\frac{(V_d - V_o)(1-D)T}{L} + \frac{V_d D T}{L} = 0 \quad (10)$$

$$V_o = \frac{V_d}{1-D} \quad (11)$$

Dari persamaan di atas, kita tahu tegangan keluaran dari *boost converter* dikontrol oleh *duty cycle*, D

Untuk mendesain *boost converter* perlu ditetapkan beberapa variabel, yaitu tegangan masukan, tegangan keluaran, arus keluaran, frekuensi *switching*, *ripple* tegangan keluaran, dan *ripple* arus masukan Dalam menentukan besarnya nilai induktor dan kapasitor dapat menggunakan persamaan berikut :^[4,5]

$$C = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot \Delta V_o \cdot f} \quad (12)$$

$$L = \frac{V_{in} \cdot D \cdot (1-D)}{f \cdot \Delta I_{in}} \quad (13)$$

Dimana :

V_o = Tegangan keluaran

V_{in} = Tegangan masukan

D = *Duty cycle*

L = Nilai induktor (induktansi)

ΔI_{in} = *Ripple* arus

f_s = Frekuensi *switching*

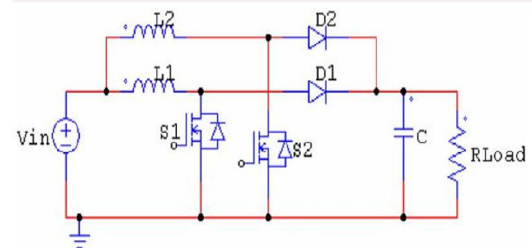
C = Nilai Kapasitor

V_o = *Ripple* tegangan keluaran

B. Interleaved Boost Converter

Interleaved boost DC-DC Converter terdiri dari dua unit *boost converter* yang dihubungkan secara paralel, yang mana dikontrol oleh dua sinyal kontrol dengan perbedaan fasa sebesar 180° diantara kedua sinyal kontrolnya.^[3,4,5,6] Pada Gambar 3 menunjukkan rangkaian skematik dari *interleaved boost converter*.

Konverter ini menggunakan dua unit *boost converter* yang dihubungkan secara paralel. Besar *duty cycle* untuk setiap unit bernilai $(V_{out} - V_{in})/V_{out}$ dan ini adalah sama untuk unit yang lainnya. Hal ini disebabkan karena konfigurasi paralel yang dipakai pada kedua unit *boost converter*.^[3,4]



Gbr. 3 Interleaved Boost DC-DC Converter^[3,4,5]

III. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Perangkat Keras Interleaved Boost Converter

Rancangan *interleaved boost converter* yang dibuat terdiri dari beberapa subsistem, yaitu mikrokontroler Arduino Mega 2560, rangkaian *gate driver* berbasis HCPL3120, antarmuka masukan (menggunakan *push button*) dan keluaran (menggunakan *liquid crystal display*, LCD), beban dan rangkaian *boost converter* dan *interleaved boost converter*. Masing-masing subsistem tersebut memiliki fungsi dan saling terhubung dengan subsistem yang lain.

Urutan kerja dari perangkat keras *interleaved boost converter* dijelaskan sebagai berikut:

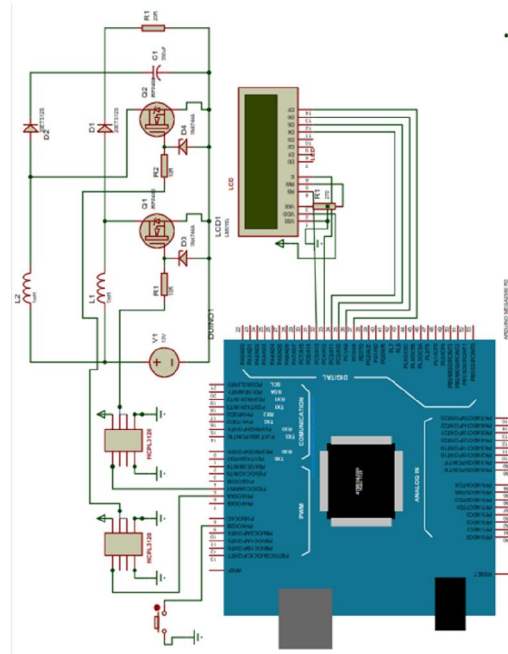
- 1) Mikrokontroler digunakan untuk menghasilkan sinyal kontrol berupa pulsa PWM (*Pulse Width Modulation*) dengan *duty cycle* yang bervariasi dari 10% hingga 70%.
- 2) Pulsa PWM akan mengendalikan *switch* pada *boost* dan *interleaved boost converter*
- 3) Pulsa yang dihasilkan oleh mikrokontroler tidak langsung menuju *switch* melainkan harus dikuatkan terlebih dahulu menggunakan rangkaian *gate driver*. Sehingga dapat digunakan untuk mengendalikan *switch*.
- 4) Setelah pulsa PWM berhasil menggerakkan saklar maka akan dihasilkan tegangan keluaran dan arus masukan beserta *ripplenya*.

Untuk parameter nilai tiap–tiap komponen dapat di lihat pada tabel 1 berikut ini

Tabel 1 Parameter Nilai Komponen *Boost Converter*

Parameter	Nilai	Satuan
Vin	12	V
Frekuensi (F)	4	kHz
Induktor (L)	1	mH
Kapasitor (C)	330	uF
	1,9	A
	1	V
<i>Duty Cycle</i>	70	%
Resistor (R)	20	Ohm

Rancangan rangkaian *interleaved boost converter* secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 4 sebagai berikut :

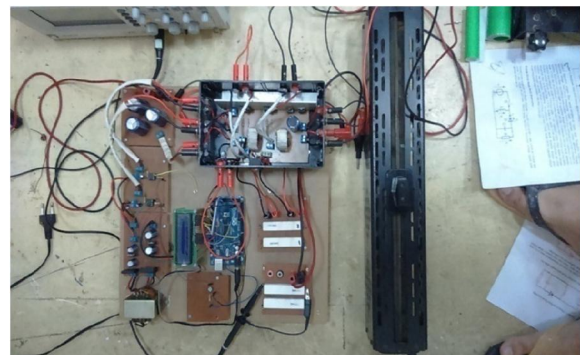


Gbr. 4 Rancangan Rangkaian *Interleaved Boost Converter*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian perangkat keras dilakukan dengan memberikan masukan berupa variasi nilai *duty cycle* dari 10% hingga 70% pada nilai beban yang tetap. Beban yang digunakan adalah beban resistif sebesar 20 Ω .

Pada pengujian ini, dibagi menjadi dua pengujian yaitu pengujian *boost converter* dan *interleaved boost converter*. Realisasi perangkat keras *interleaved boost converter* ditunjukkan pada Gambar 5 berikut ini

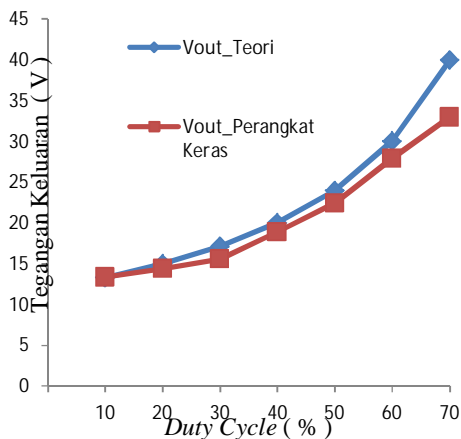


Gbr. 5 Perangkat Keras *Interleaved Boost Converter*

A. Pengujian Boost Converter

Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi nilai *duty cycle* (D) terhadap *boost converter* sebesar 10–70 %. Sehingga dihasilkan nilai *ripple* pada arus masukan dan tegangan keluaran.

Untuk memvalidasi hasil pengujian perangkat keras terhadap karakteristik yang didapatkan pada simulasi dan teori, maka kurva karakteristik hasil pengujian perangkat keras *boost converter* dibandingkan dengan kurva karakteristik hasil dari simulasi dan teori. Kurva karakteristik tersebut merupakan kurva yang menunjukkan hubungan antara *duty cycle* (D) dan tegangan keluaran (V_o) (kurva D- V_o). Kurva karakteristik D- V_o tersebut ditunjukkan pada Gambar 8

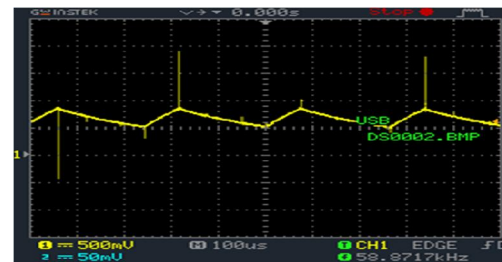


Gbr. 6 Kurva D- V_o Saat Masukan *Duty Cycle* Divariasikan Pada Model *Boost Converter*

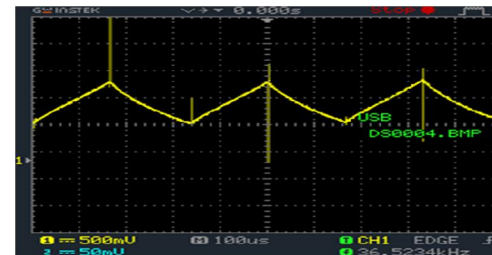
Terlihat pada Gambar 6 di atas bahwa semakin besar nilai variasi *duty cycle* (D) maka semakin besar pula nilai tegangan keluaran (V_o) yang dihasilkan. Dengan kata lain bahwa besar nilai *duty cycle* (D) berbanding lurus terhadap nilai tegangan keluaran (V_o). Dapat dilihat juga hasil perbandingan kurva karakteristik D- V_o antara hasil pengujian perangkat keras dan teori memiliki kesamaan. Hal itu ditunjukkan dari garis kurva yang saling berhimpitan. Hasil ini menunjukkan bahwa hasil pengujian perangkat keras *boost converter* sudah sesuai dengan karakteristik secara teori.

Pada pengujian ini, dihasilkan juga besar nilai *ripple* pada arus masukan dan tegangan keluaran *boost converter*. Dari hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa dengan memberi masukan besar variasi nilai *duty cycle* maka semakin besar pula nilai *ripple* pada arus masukan dan tegangan keluaran. Hal ini dapat terlihat jelas dalam gambar bentuk gelombang arus masukan dan tegangan keluaran. Gambar Bentuk gelombang arus masukan dan tegangan keluaran dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 9

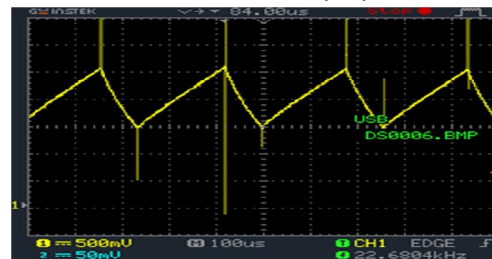
1) Arus Masukan (I_{in})



a. Arus Masukan Saat *Duty Cycle* 30 %



b. Arus Masukan Saat *Duty Cycle* 50 %

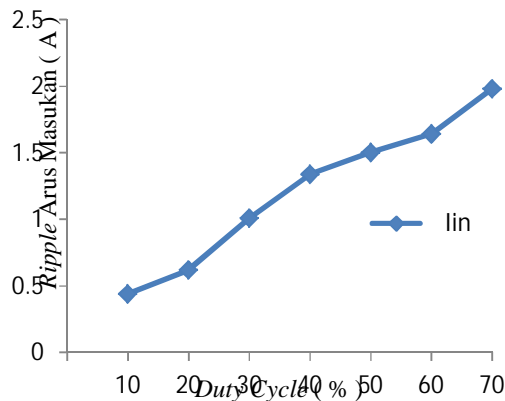


c. Arus Masukan Saat *Duty Cycle* 70 %

Gbr. 7 Gelombang Arus Masukan Saat Pemberian *Duty Cycle* Sebesar 10 % Hingga 70 % Pada *Boost Converter*

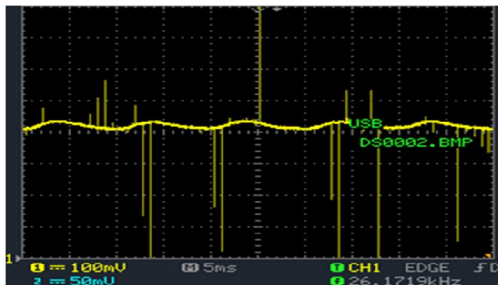
Terlihat dari Gambar 9 bahwa semakin besar variasi nilai *duty cycle* yang diberikan maka semakin besar juga nilai *ripple* arus

masukan yang dihasilkan. Jadi dapat dikatakan bahwa besar nilai *duty cycle* berbanding lurus terhadap nilai *ripple* arus masukan. Sehingga dari hasil tersebut didapatkan kurva karakteristik antara *duty cycle* (D) dengan *ripple* arus masukan (I_{in}) (Kurva D- I_{in}). Kurva D- I_{in} ditunjukkan pada Gambar 8 berikut ini.

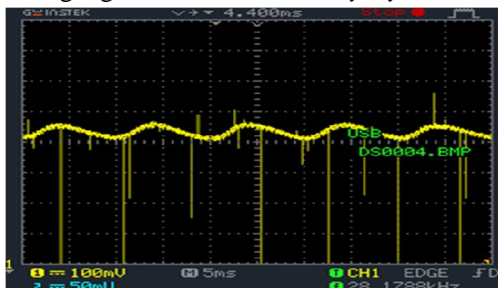


Gbr. 8 Kurva D- I_{in} Saat Masukan *Duty Cycle* Divariasikan Pada *Boost Converter*

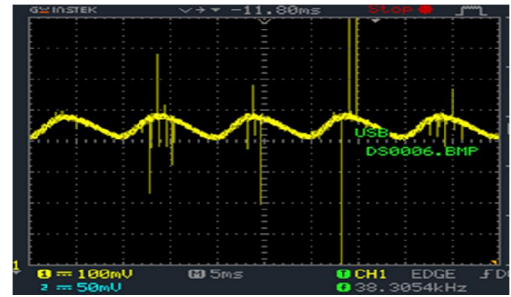
2) Tegangan Keluaran (V_o)



a. Tegangan Keluaran Saat *Duty Cycle* 30 %



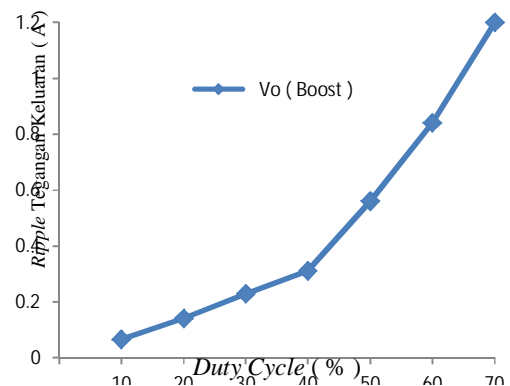
b. Tegangan Keluaran Saat *Duty Cycle* 50 %



c. Tegangan Keluaran Saat *Duty Cycle* 70 %

Gbr. 9 Gelombang Tegangan Keluaran Saat Pemberian *Duty Cycle* Sebesar 10 % Hingga 70 % Pada *Boost Converter*

Terlihat dari Gambar 9 bahwa semakin besar variasi nilai *duty cycle* yang diberikan maka semakin besar juga nilai *ripple* tegangan keluaran yang dihasilkan. Jadi dapat dikatakan bahwa besar nilai *duty cycle* berbanding lurus terhadap nilai *ripple* tegangan keluaran. Sehingga dari hasil tersebut didapatkan kurva karakteristik antara *duty cycle* (D) dengan *ripple* tegangan keluaran (V_o) (Kurva D- V_o). Kurva D- V_o ditunjukkan pada Gambar 10 dibawah ini.



Gbr. 10 Gelombang Tegangan Keluaran Saat Pemberian *Duty Cycle* Sebesar 10 % Hingga 70 % Pada *Boost Converter*

B. Pengujian Interleaved Boost Converter

Pada pengujian ini metode pengujian yang dilakukan sama halnya dengan metode pengujian pada *boost converter* yaitu dengan memberi masukan besar nilai variasi *duty cycle* sebesar 10% hingga 70% pada *interleaved boost converter*. Sehingga

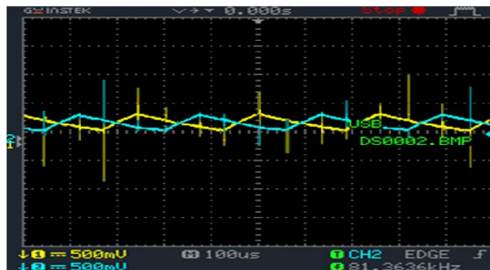
dihasilkan nilai *ripple* pada arus masukan dan tegangan keluaran.

Dari hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa dengan menggunakan teknik *interleaved* pada *boost converter* maka dapat mengurangi nilai *ripple* pada arus masukan dan tegangan keluaran. Hal ini dapat terlihat jelas dalam gambar bentuk gelombang arus masukan dan tegangan keluaran. Gambar bentuk gelombang arus masukan dan tegangan keluaran *interleaved boost converter* dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 13 berikut ini.

1) Arus Masukan

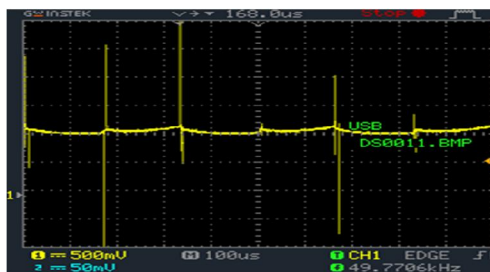


a. I_{in}

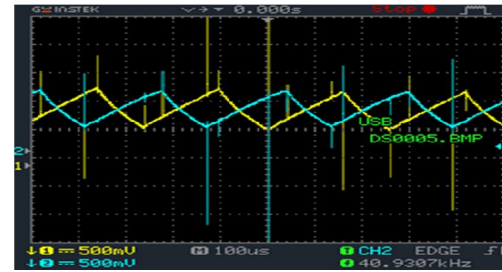


b. I_{L1} & I_{L2}

a. Arus Masukan (I_{in}) dan Arus Induktor (I_{L1} & I_{L2}) Saat *Duty Cycle* 30 %

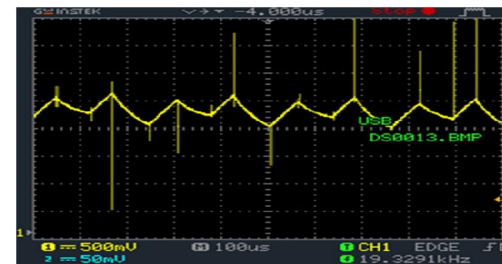


a. I_{in}

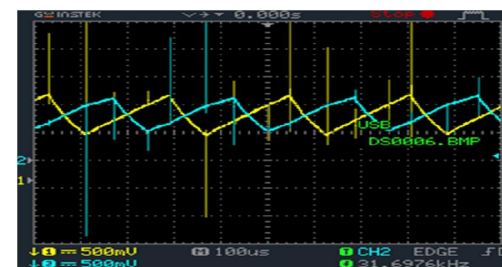


b. I_{L1} & I_{L2}

b. Arus Masukan (I_{in}) dan Arus Induktor (I_{L1} & I_{L2}) Saat *Duty Cycle* 50 %



a. I_{in}



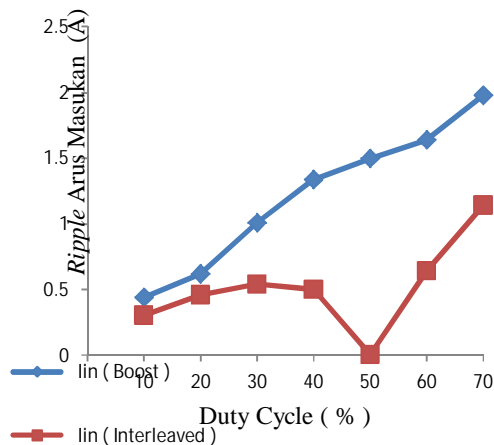
b. I_{L1} & I_{L2}

c. Arus Masukan (I_{in}) dan Arus Induktor (I_{L1} & I_{L2}) Saat *Duty Cycle* 70 %

Gbr. 11 Gelombang Arus Masukan Saat Pemberian *Duty Cycle* sebesar 10 % Sampai Dengan 70 % Pada *Interleaved Boost Converter*

Terlihat dari Gambar 11 bahwa terjadi perbedaan bentuk gelombang yang menunjukkan besar *ripple* pada arus masukan *interleaved boost converter*. Dari gambar dapat dikatakan bahwa terjadi penurunan nilai *ripple* arus masukan jika dibandingkan dengan hasil *ripple* arus masukan pada *boost converter*. Hal ini membuktikan bahwa dengan menggunakan teknik *interleaved* pada *boost converter*, dapat mengurangi nilai *ripple* pada arus masukan.

Dari hasil tersebut dihasilkan perbandingan kurva karakteristik *duty cycle* (D) terhadap *ripple* arus masukan (I_{in}) (Kurva D- I_{in}) antara model *boost converter* dan model *interleaved boost converter*. Perbandingan Kurva D- I_{in} antara hasil pada *boost converter* dan *interleaved boost converter* dapat dilihat pada gambar 12.



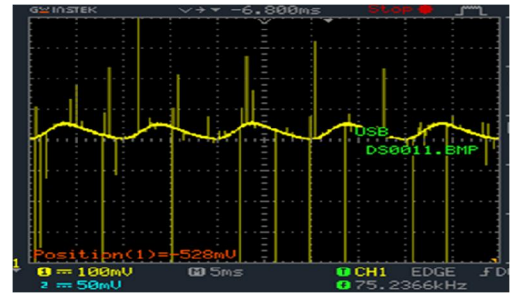
Gbr. 12 Perbandingan Kurva D- I_{in} Antara Hasil Pada *Boost Converter* dan *Interleaved Boost Converter* Saat Masukan *Duty Cycle* Divariasikan

Kurva karakteristik yang ditunjukkan oleh Gambar 12 memperlihatkan bahwa dengan menggunakan teknik *interleaved* pada *boost converter* terjadi penurunan nilai *ripple* pada arus masukan.

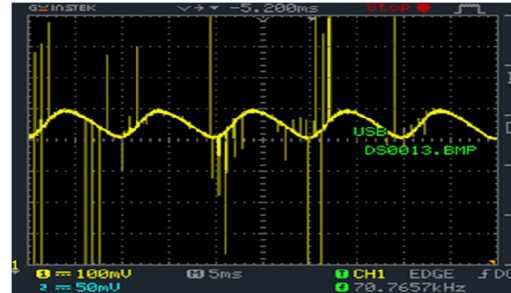
2) Tegangan Keluaran (V_o)



a. Tegangan Keluaran Saat *Duty Cycle* 30 %



b. Tegangan Keluaran Saat *Duty Cycle* 50 %

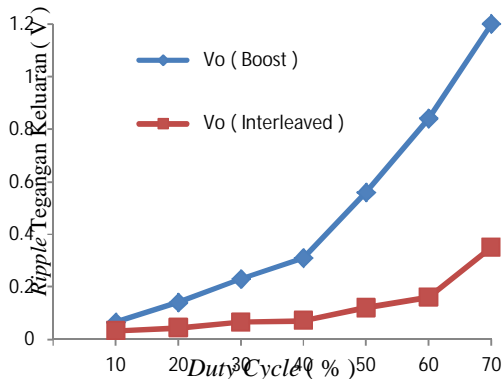


c. Tegangan Keluaran Saat *Duty Cycle* 70 %

Gbr. 13 Gelombang Tegangan Keluaran Saat Pemberian *Duty Cycle* Sebesar 10 % Hingga 70 % Pada *Interleaved Boost Converter*

Terlihat dari Gambar 13 bahwa terjadi perbedaan bentuk gelombang yang menunjukkan besar *ripple* pada tegangan keluaran *interleaved boost converter*. Dari gambar dapat dikatakan bahwa terjadi penurunan nilai *ripple* tegangan keluaran jika dibandingkan dengan hasil *ripple* tegangan keluaran pada *boost converter*. Hal ini membuktikan bahwa dengan menggunakan teknik *interleaved* pada *boost converter*, dapat juga mengurangi nilai *ripple* pada tegangan keluaran.

Dari hasil tersebut dihasilkan perbandingan kurva karakteristik *duty cycle* (D) terhadap *ripple* tegangan keluaran (V_o) (Kurva D- V_o) antara hasil pada *boost converter* dan *interleaved boost converter*. Perbandingan Kurva D- V_o antara hasil pada model *boost converter* dan model *interleaved boost converter* dapat dilihat pada gambar 14 berikut ini.



Gbr. 14 Perbandingan Kurva D- Vo Antara Hasil Pada *Boost Converter* dan *Interleaved Boost Converter* Saat Masukan *Duty Cycle* Divariasikan

Kurva karakteristik yang ditunjukkan oleh Gambar 14 memperlihatkan bahwa dengan menggunakan teknik *interleaved* pada *boost converter* dapat juga menyebabkan terjadinya pengurangan *ripple* pada tegangan keluaran.

V. PENUTUP

Pada jurnal ini, perangkat keras *interleaved boost converter* telah dibuat. Setelah dilakukan analisa pengaruh teknik *interleaved* pada *boost converter*. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa *interleaved boost converter* memiliki kemampuan untuk mengurangi nilai *ripple* pada arus masukan dan tegangan keluaran.

REFERENSI

- [1] Ahmad Kalmin. 2012. Simulasi dan Berifikasi Modul Surya Terhubung Dengan *Boost Converter* Pada Jaringan Listrik Mikro Arus Searah Dengan Menggunakan Matlab Simulink. Skripsi. Universitas Indonesia.
- [2] M. Abdul Rahim B. M. Mordin. 2013. *Interleaved DC – DC Boost Converter With Small Input Voltage*. Declaration of Thesis / Undergraduate Project Paper and Copyright. Malaysia
- [3] Samosir, A.S., Anwari, M., Yatim, A.H.M. 2011. “*Dynamic Evolution Control of Interleaved Boost DC-DC Converter for Fuel Cell Application*”. International Journal of Power Electronics and Drive System

(IJPEDS). Halaman 168–174. ISSN: 2088-8694

- [4] M. Marimuthu, A. Kamalakkannan, M. Karthick. 2012. “*Interleaved Boost Converter with MPPT Controller for Photovoltaic System*”. Halaman 70-76. ISSN 2230-7656 (c) MIT Publications.
- [5] Phatiphat Thounhong, Bernard Davat. 2010. *Study Of A Multithphase Interleaved Step-Up Converter For Fuel Cell High Power Applications*. Energy Conversion and Management 51. Journal. Halaman 826-862
- [6] H. M Mallikarjuna Swamy, K.P. Guruswamy, DR. S.P. Singh. 2013. *Design And Implementation Of Two Phase Interleaved DC – DC Boost Converter With Digital PID Controller*. International Journal of Electrical Engineering (IJEET). Volume 3. ISSN: 2231-5284.